

PELLET SERBUK KAYU MERBAU (*Intsia bijuga* OK): KARAKTERISTIK DAN KEMAMPUAN MENYERAP MINYAK
(*Wood Pellets Made From Merbau (*intsia bijuga ok.*) Sawdust: Characteristics And Oil Adsorption Capacity*)

Muliyana Arifudin^{1*}, Arifandi dan Susilo B. Husodo¹

¹Jurusan Kehutanan, Fakultas Kehutanan Universitas Papua Jl. Gunung Salju Amban Manokwari Papua Barat 98314, Tlp/Fax: +62986211065.

✉Penulis Korespondensi: Email:m.arifudin@unipa.ac.id

Diterima: 12 Okt 2015 | Disetujui: 12 Jan 2016

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik pellet yang dibuat dari limbah serbuk gergaji dan juga menilai kapasitas pellet tersebut dalam menyerap minyak dari air. Metode eksperimen dengan teknik observasi digunakan, dirancang dengan menggunakan RAL dan dianalisis ANOVA. Pellet dibuat dari serbuk kayu Merbau (*Intsia bijuga*) dengan campuran CMC dan ACA dengan 5 dosis yang berbeda (Pellet A, B, C, D dan E). Variabel pengamatan meliputi tekstur dan ukuran pellet, kapasitas *Liquid accessible pore volume* (*Vacc*) dan jumlah minyak yang diserap (%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan karakteristik fisik, pellet C, D dan E memiliki ukuran yang lebih besar, tekstur yang padat, keras dan tidak mudah hancur dibandingkan pellet A dan B. Berdasarkan nilai *Vacc*, pellet C dan D memiliki volume pori-pori penyerapan minyak yang paling rendah. Hasil studi penyerapan minyak menunjukkan bahwa pellet yang terbuat dari serbuk *Intsia bijuga* mampu menyerap oli bekas dan minyak jelantah lebih dari 70%, dimana pellet A dan B memiliki daya serap minyak yang paling tinggi dibandingkan dengan tipe pellet lainnya.

Kata kunci: Pellet kayu, penyerapan minyak, *Liquid accessible pore volume*, serbuk kayu *Intsia bijuga* Ok.

Abstract

*This research aimed to identify characteristics of pellet made of wood sawdust and its oil adsorption capacity. Research method was experiment with observation technique, designed with RAL and analyzed using ANOVA. Pellets were made from Merbau (*Intsia bijuga*) sawdust mixed with ACA and CMC in different doses (type A, B, C, D, and E). Observed variables were pellets' texture and dimension, *Vacc* and adsorption ability of the pellets. Research results showed that based on physical characteristics, pellet C, D, and E had larger sizes, compact textures, hard and uneasily broken compared to the others. Based on *Vacc* value, pellet C and D had lower amount of adsorption pores. The result of adsorption study showed that pellet made from Merbau sawdust was able to adsorp more than 70% oils tested.*

Keywords: *Intsia bijuga* Ok sawdust, liquid accessible pore volume, oil adsorption, wood pellet.

PENDAHULUAN

Minyak merupakan salah satu polutan organik yang dapat merusak lingkungan, khususnya pada ekosistem darat dan ekosistem perairan (air laut, danau, sungai dan air tanah). Kehadiran minyak pada ekosistem perairan dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan masalah serius bagi ekosistem tersebut. Minyak memiliki sifat kelarutan yang rendah dalam air sehingga akan terakumulasi pada permukaan air dan bawah air (Sirotkina dan Novoselova, 2005). Sebagai konsekuensinya, penghancuran akan terjadi pada sumber daya rantai makanan dan dapat berpengaruh terhadap seluruh kehidupan di alam. Selain itu, minyak mengandung kontaminasi racun yang dapat menyebabkan penyakit dan gangguan aktivitas fisiologis organisme air (Kania et al. 2010).

Beberapa penelitian telah dikembangkan untuk mengurangi jumlah limbah minyak dalam larutan air dengan menerapkan metode-metode, seperti pembekuan, pemisahan padat/cair, dan absorpsi. Menurut Kania et al (2010), metode absorpsi telah banyak diterapkan karena kapasitasnya yang tinggi dalam menghilangkan limbah minyak dari air. Keuntungan yang signifikan dari teknologi absorpsi adalah biaya rendah, penggunaan bahan kimia yang rendah/sedikit dan pemanfaatan kembali limbah padat sebagai adsorben yang murah dan ketersediannya melimpah (Demirbas, 2008).

Proses biosorpsi umumnya menggunakan berbagai produk limbah dari industri pertanian dan kehutanan. Serbuk gergaji merupakan salah satu biomassa populer yang digunakan sebagai adsorben alami untuk menghilangkan

minyak (Sirotkina dan Novoselova, 2005; Renganathan et al., 2009.).

Intsia bijuga Ok merupakan salah satu jenis kayu dari hutan Papua yang telah dikenal secara komersial di pasar internasional dengan nama dagang kayu Merbau. Jenis kayu ini banyak digunakan sebagai bahan konstruksi bangunan karena daya tahan alami dan kekuatan yang tinggi. Permintaan terhadap kayu Merbau (*Intsiabijuga* Ok) sebagai bahan konstruksi meningkat setiap tahunnya baik secara lokal maupun internasional. Peningkatan produksi kayu Merbau oleh industri pengolahan kayu (*sawmill*) telah menghasilkan limbah dengan jumlah besar baik dalam bentuk serbuk gergaji, potongan kayu (*chips*), kulit kayu dll. Selain dibakar, limbah padat tersebut paling banyak dibuang sehingga berpotensi menimbulkan dampak yang merugikan bagi lingkungan.

Untuk mengatasi masalah lingkungan, baik masalah kontaminasi minyak dalam ekosistem perairan maupun masalah pembuangan limbah kayu, pemanfaatan potensi limbah kayu merbau sebagai adsorben alami untuk limbah minyak perlu untuk diteliti. Demirbas (2008) menyatakan bahwa komponen makromolekul (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) dan zat ekstraktif yang terkandung dalam kayu terdiri dari berbagai gugus fungsi yang mampu berikatan dengan komponen minyak.

Untuk mengikat zat ekstraktif di dalam kayu dan membuatnya menjadi lebih reaktif, maka Oh dan Tshabalala (2007) membuat pelet dari serbuk kulit pinus. Serbuk dicampur dengan asam sitrat, kemudian pellet yang dihasilkan tersebut dipanaskan pada suhu 180°C selama 1 jam. Hasilnya pellet mampu

menghilangkan logam berat dan tidak melepaskan tanin ketika ditempatkan dalam air. Hal ini kemungkinan disebabkan karena kombinasi perlakuan pemadatan (*densification*) serbuk kayu dan pemanasan pellet mampu merubah komposisi kimia kayu sehingga beberapa komponen zat ekstraktif yang larut dalam air dapat terikat kuat dalam sel kayu dan membuat pellet menjadi lebih reaktif.

Oleh karena itu penelitian mengenai pembuatan pellet dari limbah serbuk gergaji dirasa perlu untuk dilakukan, dengan tujuan untuk mengetahui potensi pemanfaatan pellet kayu sebagai penyerap alami (*biosorbent*) untuk limbah minyak dalam larutan air.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan teknik observasi, dirancang dengan rancangan acak lengkap (RAL) dengan 5 perlakuan dan 3 ulangan. Model matematis dari Rancangan Acak Lengkap (RAL) adalah sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad i = 1,2,3,4,5 ; j = 1,2,3$$

Dimana

Y_{ij} = Nilai pengamatan pada perlakuan ke - i ulangan ke - j

μ = Nilai tengah umum

τ_i = Pengaruh perlakuan ke - i

ε_{ij} = Kesalahan (galat) percobaan pada perlakuan ke-i dan ulangan ke - j

Variabel yang diamati dalam penelitian ini adalah panjang dan diameter pellet, tekstur pellet, kapasitas *Liquid accessible pore volume* (V_{acc}) dan banyaknya minyak yang diserap oleh pellet (%).

Sampel yang digunakan adalah limbah serbuk kayu gergajian kayu Merbau (*Intsia bijuga*) yang diperoleh dari Laboraturium Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan yang telah dikering udara selama 2 minggu. Setelah proses pengeringan selesai, limbah kayu tersebut dihancurkan dengan menggunakan *hummermill* dan diayak dengan menggunakan ayakan ukuran 80 mesh.

Minyak yang digunakan terdiri dari 2 jenis minyak yaitu oli bekas kendaraan dan minyak jelantah (minyak goreng bekas). Oli bekas yang digunakan berasal dari kendaraan roda dua (motor) yang diperoleh dari bengkel motor dan minyak jelantah yang digunakan diperoleh dari hasil penggorengan (penjual gorengan).

Tabel 1. Pemberian dosis CMC dan ACA dalam pembuatan pellet

Jenis Pellet	Berat (g)			
	Serbuk	CMC	ACA	Air
A	100	0	0	110
B	100	1	3	110
C	100	3	5	110
D	100	5	10	110
E	100	5	20	110

Sumber: Data Primer, 2016

Persiapan Pellet dalam penelitian ini menggunakan metode yang diterapkan oleh Oh dan Tshabalala (2007) yang telah dimodifikasi. Serbuk gergaji dicampur

dengan Karboksimetil sellulosa (CMC), Asam sitrat anhidrat (ACA) dan air dengan komposisi seperti yang ditampilkan dalam Tabel 1.

Bahan-bahan tersebut dicampur secara merata dan dimasukkan ke dalam pencetak pellet. Setelah terbentuk, pellet kemudian dipanaskan dalam oven pada suhu 150°C selama 2 jam. Proses pemanasan tersebut bertujuan agar serbuk, CMC, ACA dan air dapat menyatu sehingga pellet yang terbentuk menjadi lebih padat. Setelah periode pemanasan selesai, pellet dikeluarkan dan diletakan dalam desikator.

Identifikasi karakter pellet yang dihasilkan meliputi pengamatan tekstur pellet, pengukuran dimensi pellet (panjang dan diameter) dan perhitungan *Liquid accessible pore volume* (V_{acc}) yang dilakukan dengan metode yang diterapkan oleh Oh dan Tshabalala (2007) yang telah dimodifikasi. Untuk mengukur dimensi dan V_{acc} , pellet tersebut diukur panjang dan diameternya dengan menggunakan kaliper digital. Lalu pellet ditimbang sebanyak 1 g dan direndam dalam air selama 24 jam. Kemudian pellet dikeluarkan dan diusapkan pada kertas tisu untuk membuang kelebihan air dari permukaan pellet sebelum melakukan penimbangan. V_{acc} merupakan volume pori – pori pellet yang dapat diakses/dimasuki oleh air. V_{acc} dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$V_{acc} = (W_{basah} - W_{kering}) d_{air}$$

Dimana:

- W_{basah} : berat pellet (g) setelah jenuh dengan air
 W_{kering} : bobot awal (g) pellet
 d_{air} : densitas/berat jenis air (1 g/cm³)

Penyerapan pellet terhadap minyak dilakukan dengan menggunakan metode standar kinerja sorben adsorben (F726 ASTM-82) seperti yang diterapkan Kania et. Al. (2010) yang telah dimodifikasi.

Sampel sebanyak 1 gr ditempatkan pada kantung sampel lalu dimasukkan dalam botol yang berisi minyak dan ditempatkan pada shaker selama 1 jam. Sebelum proses perendaman, kantung sampel yang dipakai ditimbang untuk mendapatkan berat awal. Penempatan pellet pada kantung sampel bertujuan untuk menahan pellet agar tidak jatuh hingga ke dasar botol. Setelah periode perendaman selesai, sampel dikeluarkan dan dikeringkan selama 24 jam dengan tujuan untuk mengurangi kelebihan minyak pada permukaan. Setelah proses pengeringan, pellet dikeluarkan dari kantung dan ditimbang. Jumlah minyak terserap dalam pellet dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Minyak diserap (\%)} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

Dimana

W_0 : Berat awal pellet

W_1 : Berat akhir pellet

Data yang diperoleh dianalisis dengan Analisis Ragam (ANOVA), jika menunjukkan perbedaan yang nyata dilakukan dengan uji lanjutan berupa Uji Beda Nyata Jujur (BNJ)/Tukeytest.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Pellet

Terdapat 5 tipe pellet yang dihasilkan dari konversi erbuk kayu merbau, berdasarkan perbedaan komposisi asam sitrat anhidrat (*anhydrous citric acid/ACA*) and karboksimetil selulosa (*carboxymethyl cellulose/CMC*). ACA berperan dalam mempertahankan stabilitas dimensi pellet, sedangkan CMC bertindak sebagai bahan pengikat/perekat (Oh dan Tshabalala, 2007). Dimensi pellet berdasarkan komposisi ACA dan CMC ditampilkan

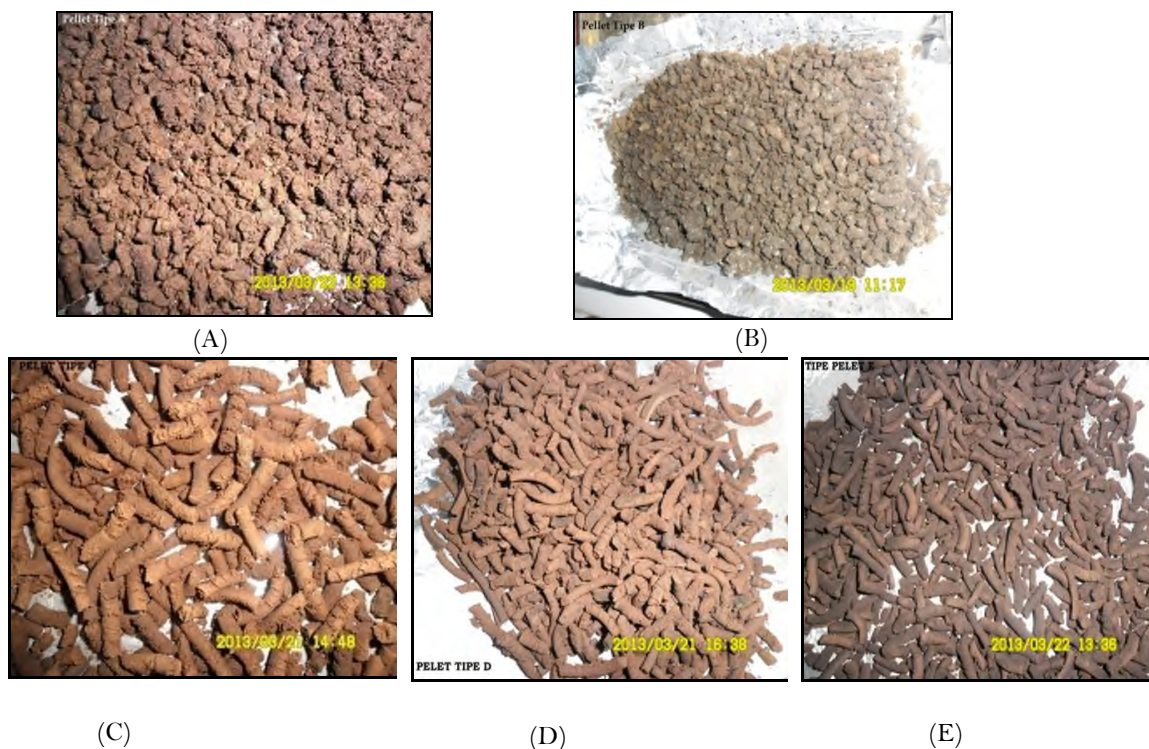
pada Tabel 2, sedangkan ke 5 tipe pellet tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 2 menunjukkan bahwa tipe pellet D merupakan pellet yang terpanjang (17,78 mm), sedangkan pellet dengan panjang terendah adalah pellet A dan B. Kedua tipe pellet ini juga memiliki diameter terendah. Pellet C, D, E memiliki diameter yang tidak berbeda nyata. Rata-rata ukuran pellet yang dihasilkan pada penelitian ini berbeda dengan ukuran pellet yang dihasilkan oleh Oh and Tsabalala (2007), dimana rata-rata panjang pellet yang dihasilkan dari limbah kulit kayu adalah 11,60 mm dan diameter pellet 3,28 mm. Selain berfungsi untuk memberi bentuk, CMC juga berfungsi sebagai perekat sehingga saat proses pencetakan pellet tidak mudah putus/patah. Selain itu juga, secara fisik ACA yang diberikan akan meningkatkan kekuatan/kemampuan dari CMC sehingga dapat menghasilkan pellet dengan panjang dan diameter yang sesuai.

Menurut Pietrzak (2010) pellet adalah salah satu produk karbonisasi kayu berbentuk silinder kecil dengan ukuran diameter ± 5 mm dan panjangnya antara 10-15 mm. Dengan pernyataan tersebut tipe pellet C, pellet D dan pellet E memiliki panjang yang ideal sesuai dengan yang ditetapkan. Peningkatan dosis ACA dan CMC memberikan pengaruh terhadap panjang pellet namun tidak mempengaruhi diameter pellet. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan dosis dari 0-10 g ACA dan 0-5 g CMC, panjang pellet A sampai D meningkat, sedangkan diameter ke 4 tipe pellet tidaklah jauh berbeda. Namun ketika jumlah ACA ditingkatkan lagi dari 10 ke 20 g dengan jumlah ACA dosis ACA tetap (5 g), panjang pellet E menurun namun diameter pelletnya tidak berbeda jauh dengan diameter tipe pellet lainnya (Tabel 2).

Tabel 2. Komposisi dan karakteristik pellet

Tipe pellet	Komposisi ACA dan CMC		Dimensi pellet	
	ACA (g)	CMC (g)	Panjang (mm)	Diameter (mm)
A	0	0	6,56	3,71
B	3	1	7,42	3,86
C	5	3	14,72	4,56
D	10	5	17,96	4,79
E	20	5	15,27	4,78



Gambar 1. Tekstur pellet tipe A, B, C, D dan E.

Ditinjau dari segi tekstur pellet, Gambar 1 menunjukkan bahwa penambahan dosis CMC dan ACA dapat meningkatkan tekstur pellet. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 1, bahwa pellet A sebagai control (tanpa pemberian ACA maupun CMC) memiliki tekstur yang kurang padat dan mudah hancur. Hampir sama halnya dengan pellet A, pellet B yang terbuat dari dosis ACA dan CMC dosis rendah memiliki ukuran pellet yang kecil, nampak hancur (ukuran partikelnya lebih kecil) dan teksturnya kurang padat. Berbeda dengan tipe pellet C, tipe D dan tipe E yang memiliki tekstur yang lebih padat, keras dan tidak mudah hancur. Hal ini disebabkan karena dosis CMC yang diberikan pada tipe pellet C, tipe D dan tipe E lebih tinggi jika dibandingkan dengan tipe pellet A dan pellet B. CMC yang juga berfungsi untuk memberikan bentuk, konsistensi serta tekstur pada pellet C, pellet D dan pellet E dapat berinteraksi/terikat secara

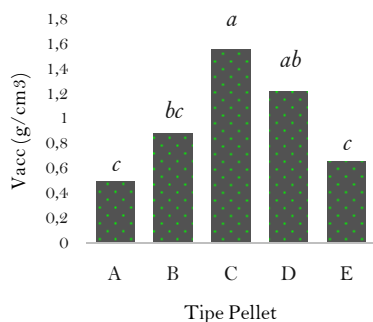
kuat dengan air dan serbuk gergaji, sehingga menghasilkan pellet dengan tekstur yang lebih padat, keras dan tidak mudah hancur.

Liquid Accesible Pore Volume (Vacc)

Liquid accesible pore volume (Vacc) merupakan volume pori-pori pellet yang dapat diakses/dimasuki oleh cairan, terutama air. Khusus untuk penyerapan limbah minyak, sifat pellet yang baik adalah memiliki kapasitas penyerapan minyak yang tinggi dan bersifat hidrofobik (kemampuan menyerap air yang rendah) dan memiliki kemampuan terapung yang baik (Ghalambor, 1998 dalam Barlianti dan Wiloso, 2008). Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi hidrofobitas suatu sorbent, semakin rendah kemampuannya mengikat air. Terkait dengan *Vacc*, semakin tinggi *Vacc* pellet maka semakin rendah kapasitasnya dalam menyerap minyak.

Besarnya volume pori-pori yang dapat diakses/dimasuki oleh air dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2 dapat dijelaskan bahwa tipe pellet C memiliki nilai V_{acc} tertinggi yaitu sebesar $1,55 \text{ g/cm}^3$, diikuti oleh pellet D dengan nilai $V_{acc} 1,22 \text{ g/cm}^3$. Tipe pellet A dan pellet E memiliki nilai V_{acc} terendah yaitu masing-masing sebesar $1,49$ dan $0,65 \text{ g/cm}^3$, diikuti oleh pellet B dengan nilai V_{acc} sebesar $0,88 \text{ g/cm}^3$. Hasil ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai V_{acc} , pellet A, B dan E memiliki daya serap minyak yang tinggi dibandingkan pellet C dan D. Kecilnya daya serap pada tipe pellet C dan tipe D disebabkan karena tekstur pellet yang terlalu padat sehingga sukar untuk diakses oleh molekul minyak.



Gambar 2. Diagram *Liquid accessible pore volume* (g/cm^3).

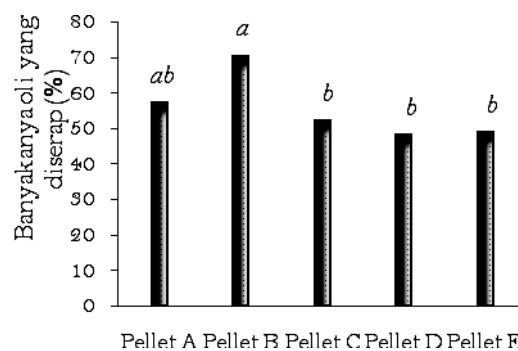
Tipe pellet A, B dan E memiliki nilai V_{acc} yang rendah (Gambar 2) menunjukkan kapasitas menyerap minyak yang tinggi. Hal ini jika dikaitkan dengan tekstur dan ukuran pellet maka tekstur pellet yang mudah hancur dan kurang padat (renggang) serta ukuran partikelnya lebih kecil berpotensi memiliki daya serap minyak yang tinggi. Kondisi ini berlaku untuk pellet A dan B kecuali pellet E karena pellet E memiliki struktur yang padat

serta ukuran pellet yang lebih besar. Ukuran partikel pellet yang kecil menyebabkan luas permukaan pellet yang besar, sehingga pori-pori yang tersedia lebih banyak dalam menyerap partikel minyak.

Studi Penyerapan Minyak

Pellet yang telah dihasilkan dan dianalisis kemudian diujikan kapasitas serap terhadap minyak oli bekas dan minyak goreng bekas. Banyaknya minyak oli bekas yang diserap oleh pellet dapat dilihat pada Gambar 3, sedangkan kemampuan masing-masing pellet dalam menyerap minyak goreng bekas dapat dilihat pada Gambar 4.

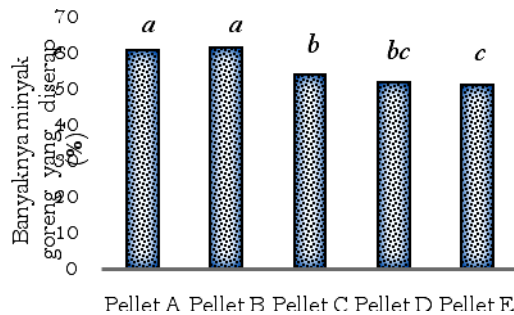
Hasil analisis statistik menunjukkan bahwa perbedaan daya serap oli bekas terjadi pada tipe pellet yang diujikan. Pellet A dan pellet B memiliki daya serap oli bekas yang paling tinggi, dengan rata-rata penyerapan masing-masing 70,29 dan 57,17 %, dibandingkan dengan tipe pellet C (52,10%), D (48,06%) dan E (48,82%) yang memiliki daya serap oli bekas terendah (Gambar 3).



Gambar 3. Kemampuan rata-rata pellet menyerap oli bekas.

Hampir sama halnya dengan penyerapan minyak oli bekas, tipe pellet A (60,46%) dan B (61,26%) lebih efektif dalam menyerap minyak goreng bekas (minyak jelantah) dibanding tipe pellet lainnya, sedangkan pellet D dan E

memiliki kapasitas penyerapan minyak paling rendah, dengan rata-rata penyerapan masing-masing 51,58 dan 50,69 % (Gambar 4).



Gambar 4. Kemampuan rata-rata pellet menyerap minyak goreng bekas.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pellet A dan B yang memiliki ukuran panjang dan diameter yang lebih rendah dengan tekstur yang kurang padat justru memiliki kapasitas menyerap minyak lebih tinggi dibandingkan dengan pellet C, D dan E yang ukurannya lebih besar dan tekstur yang lebih padat (Gambar 3 dan Gambar 4). Hal ini disebabkan oleh partikel-partikel pellet yang renggang menyebabkan pori-pori pellet lebih banyak terbuka/tersedia untuk dapat diakses oleh partikel minyak. Selain itu ukuran pellet yang rendah menyebabkan luas permukaan pellet menjadi lebih besar sehingga mampu menyerap lebih banyak partikel minyak. Hasil ini didukung oleh Atkins (1999) dalam Kurniawan (2011), bahwa semakin kecil ukuran partikel (*adsorbet*) dan semakin besar luas permukaan padatan persatuan volume (*adsorben*) maka semakin banyak zat yang akan diadsorpsi.

Sebaliknya, tekstur pellet C, pellet D dan pellet E yang padat menyebabkan ruang yang tersedia untuk ditempati oleh partikel minyak lebih sedikit dan terbatas. Selain itu juga, ukuran pellet yang besar memiliki luas permukaan

pori yang kecil sehingga jumlah minyak yang diserap lebih terbatas/sedikit. Kondisi ini juga dipertegas dengan nilai *Vacc* yang dimiliki oleh masing-masing pellet (Gambar 2), dimana semakin rendah nilai *Vacc* pellet (A, B, dan E) maka semakin banyak jumlah minyak yang diserap oleh pellet, namun kondisi ini tidak berlaku untuk tipe pellet E. Hal sebaliknya ditemukan pada pellet C dan D, dimana kedua tipe pellet ini memiliki nilai *Vacc* lebih tinggi maka daya serap minyaknya lebih rendah (Gambar 2).

Jika dikaitkan dengan komposisi ACA dan CMC dalam pembuatan pellet, pemberian 3% ACA dan 1% CMC sudah menunjukkan kapasitas penyerapan minyak yang lebih baik. Penambahan dosis ACA dan CMC justru menurunkan kapasitas serap pellet terhadap minyak karena pellet yang dihasilkan lebih padat, yang menyebabkan pori-pori pellet lebih terbatas jumlahnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Barlianti, V. dan Wiloso, E.I. 2008. Potensi pemanfaatan lignoselulosa pada coir dust sebagai penyerap tumpahan minyak pada air. *Berita Selulosa*, 43(2): 101-106.
- Demirbas, A. 2008. Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 157(2-3): 220-229.
- Kania D, P. Soewondo, dan J.R Valdes. 2010. Pemisahan minyak jelantah dari air melalui absorpsi pada partikel karet ban.
- Kurniawan T. 2011. Adsorben berbasis limbah padat tapioka. Departemen Kimia, FMIPA. Institut Pertanian Bogor.
- Oh, M. and Tshabalala, MA. 2007. Pelletized ponderosa pine bark for adsorption of toxic heavy metals

- from water. *BioResources*, 2(1): 66-81.
- Pietrzak, R. 2010. Sawdust pellets from coniferous species as adsorbents for NO₂ removal. *Biosource Technology*, 101: 907-913.
- Renganathan, S., PBS Parthan, G. Vijayakumar, M.D Kumar and M. Velan. 2009. Biosorption of residual oil using biomass derived from *Pistia stratiotes*: Batch studies. *Indian Journal Environmental Protection*, 29(10): 890-895.
- Sirotkina, E.E and L.Y Noveselova. 2005. Materials for adsorption purification of water from petroleum and oil products. *Chemistry for sustainable development*, 13: 359-375.